

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

This Page Blank (uspto)

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-153644

(43)Date of publication of application : 10.06.1997

(51)Int.Cl.

H01L 33/00
G09F 9/33

(21)Application number : 07-338116

(71)Applicant : TOYODA GOSEI CO LTD

(22)Date of filing : 30.11.1995

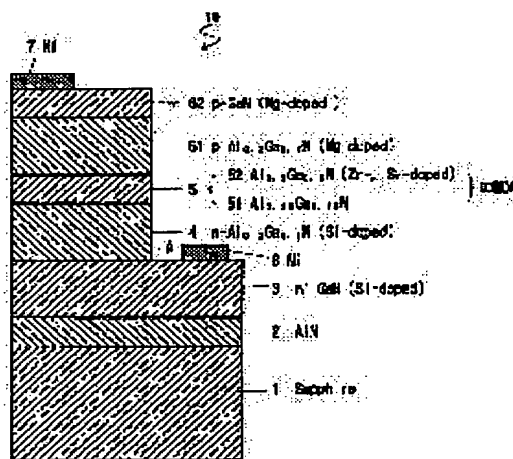
(72)Inventor : SASA MICHINARI
KOIKE MASAYOSHI
ASAMI SHINYA

(54) GROUP-III NITRIDE SEMICONDUCTOR DISPLAY DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the full color flat-panel display of a group-III nitride semiconductor.

SOLUTION: An n⁺ layer 3, an n-layer 4, a light emitting layer 5 which has multiplex quantum well structure by means of the barrier layer 51 of six layer made of Al_{0.25}Ga_{0.75}N and of the well layer 52 of five layers made of Al_{0.2}Ga_{0.8}N and to which Si and Zn are added, a p-layer 61 and a contact layer 62 are formed on a sapphire substrate 1. Row lines from the contact layer 62 to the buffer layer 2 are formed and the islands of the n-layer 4, the light-emitting layer 5, the p-layer 61 and the contact layer 62 are formed in a dot matrix. A electrode 7 connected to the contact layer 62 of respective column lines is formed as a column line parallel to the direction of a y-axis and an electrode 8 connected to the n⁺ layer 3 of the respective row lines is formed. Red, green and blue fluorescent substance layer are formed on the electrode 7. Ultraviolet light is emitted from the light-emitting light 5 of a picture element on which electric field is impressed and visible light is radiated from the fluorescent substance layer of the corresponding picture element by selecting the row lines and the column lines and impressing control voltage.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

This Page Blank (uspto)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-153644

(43)公開日 平成9年(1997)6月10日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 33/00			H 0 1 L 33/00	C
G 0 9 F 9/33			G 0 9 F 9/33	E

審査請求 未請求 請求項の数20 F D (全 16 頁)

(21)出願番号 特願平7-338116

(22)出願日 平成7年(1995)11月30日

(71)出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地

(72)発明者 佐々 道成

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 小池 正好

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 浅見 慎也

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

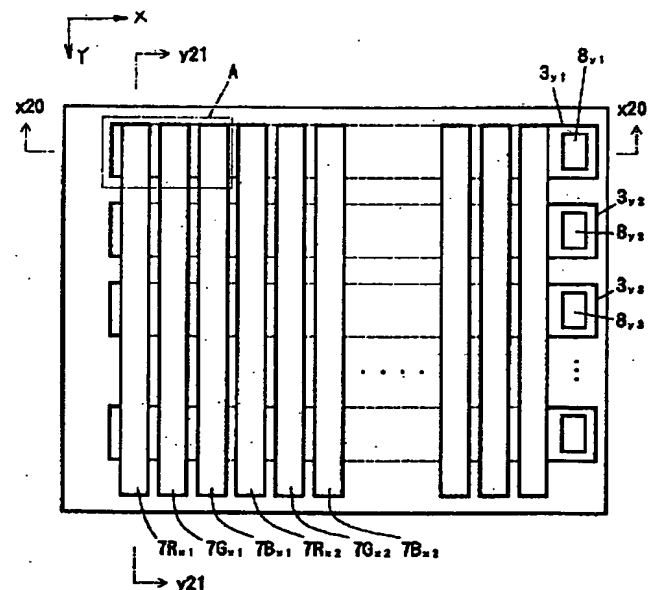
(74)代理人 弁理士 藤谷 修

(54)【発明の名称】 3 族窒化物半導体表示装置

(57)【要約】

【課題】 3 族窒化物半導体のフルカラー平面ディスプレイを可能とすること。

【解決手段】 サファイア基板 1 上に n⁺ 層 3、n 層 4、Al_{0.25}Ga_{0.75}N から成る 6 層のバリア層 5 1 と Al_{0.2}Ga_{0.8}N から成る 5 層の井戸層 5 2 とによる多重量子井戸構造で Si、Zn が添加された発光層 5、p 層 6 1、コンタクト層 6 2 が形成されている。コンタクト層 6 2 からバッファ層 2 までの行ラインが形成され、n 層 4、発光層 5、p 層 6 1、コンタクト層 6 2 の島がドットマトリックスに形成される。各列ラインの各コンタクト層 6 2 に接合する電極 7 が y 軸方向に平行な列ラインとして形成され、各行ラインの n⁺ 層 3 に接合する電極 8 が形成される。電極 7 の上に赤、緑、青の蛍光体層 1 3 が形成される。行ラインと列ラインを選択して、制御電圧を印加することで、電界が印加された画素の発光層 5 から紫外線が発光し、対応する画素の蛍光体層から可視光線が放射される。



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 発光層に3族窒素化合物半導体を用いた表示装置において、

紫外線を発光する発光層と、

前記発光層の放射する前記紫外線を受光して、赤、青、緑の3原色の可視光に変換する蛍光体層とを設けたことを特徴とする表示装置。

【請求項2】 前記発光層に給電するための電極層を有し、前記蛍光体層はその電極層上に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の表示装置。

【請求項3】 前記発光層を形成するためのサファイア基板を有し、前記蛍光体層はそのサファイア基板の前記発光層の形成側とは反対側の面に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の表示装置。

【請求項4】 前記蛍光体層は、3原色発光する隣接した3画素を1組として構成される表示の1ドットが2次元配列されたものであり、前記発光層は、前記各画素に対して紫外線を照射するように2次元配列されていることを特徴とする請求項1に記載の表示装置。

【請求項5】 前記蛍光体層はガラス基板上に形成されており、前記蛍光体層の各画素に対応して、その各画素に紫外線を照射するための前記発光層を有したチップが前記蛍光体層に平行に2次元配列されていることを特徴とする請求項4に記載の表示装置。

【請求項6】 前記蛍光体層はガラス基板上に形成されており、前記蛍光体層の前記3画素を1組とした表示の各ドットに対応して、その3画素に対応して3本の紫外線を発光するための前記発光層を有したチップが前記蛍光体層に平行に2次元配列されていることを特徴とする請求項4に記載の表示装置。

【請求項7】 前記蛍光体層はガラス基板上に形成されており、前記2次元配列された前記発光層は基板上に積層された平面層の加工により形成されたものであることを特徴とする請求項4に記載の表示装置。

【請求項8】 前記2次元配列された前記発光層は基板上に積層された平面層の加工により形成された層であり、前記蛍光体層は前記発光層に給電するための電極層上に形成されていることを特徴とする請求項4に記載の表示装置。

【請求項9】 前記2次元配列された前記発光層はサファイア基板上に積層された平面層の加工により形成された層であり、前記蛍光体層はそのサファイア基板の前記発光層の形成側とは反対側の面に形成されていることを特徴とする請求項4に記載の表示装置。

【請求項10】 前記発光層は絶縁基板上にドットマトリックス型に形成されており、基板上の導電層はx軸方向に長くラインに形成され、その各ラインはx軸に垂直なy軸方向には絶縁されており、前記発光層の上方に位置する電極層は前記y軸方向に長くラインに形成され、その各ラインは前記x軸方向には絶縁されることで、ド

ットマトリックス型の表示を可能とした請求項4に記載の表示装置。

【請求項11】 前記蛍光体層は前記電極層上に形成されていることを特徴とする請求項10に記載の表示装置。

【請求項12】 前記絶縁基板はサファイア基板であり、前記蛍光体層はそのサファイア基板の前記発光層の形成側とは反対側の面に形成されていることを特徴とする請求項10に記載の表示装置。

【請求項13】 前記発光層は、 $Al_{x1}Ga_{y1}In_{1-x1-y1}N$ から成る井戸層とこの井戸層よりも禁制帯幅の広い $Al_{x2}Ga_{y2}In_{1-x2-y2}N$ から成るバリア層とを少なくとも1層以上交互に積層させた量子井戸で構成され、前記発光層にアクセプタ不純物とドナー不純物とを添加したことを特徴とする請求項1乃至請求項12項の何れかに記載の表示装置。

【請求項14】 前記発光層の各井戸層又は井戸層及びバリア層に前記アクセプタ不純物と前記ドナー不純物とが共に添加されていることを特徴とする請求項13に記載の表示装置。

【請求項15】 前記発光層の隣接する井戸層に、前記アクセプタ不純物と前記ドナー不純物とが交互に添加されていることを特徴とする請求項13に記載の表示装置。

【請求項16】 前記発光層の前記井戸層には前記アクセプタ不純物が、前記発光層の前記バリア層には前記ドナー不純物が、逆に、前記井戸層には前記ドナー不純物が、前記バリア層には前記アクセプタ不純物が、それぞれ、添加されていることを特徴とする請求項13に記載の表示装置。

【請求項17】 前記バリア層はGaN から成ることを特徴とする請求項13に記載の表示装置。

【請求項18】 前記井戸層と前記バリア層は格子定数が一致していることを特徴とする請求項13に記載の表示装置。

【請求項19】 前記発光層は、p伝導型のp層とn伝導型のn層とで挟まれ、正孔の拡散長よりも厚く構成し、前記n層を、前記発光層と格子定数が略等しくなるドナー不純物が添加された $Al_{x3}Ga_{y3}In_{1-x3-y3}N$ 半導体で構成し、

前記p層を、前記発光層に注入された電子を閉じ込めるのに十分なだけ、前記発光層よりも禁制帯幅が大きいアクセプタ不純物が添加された $Al_{x4}Ga_{y4}In_{1-x4-y4}N$ 半導体で構成したことを特徴とする請求項1乃至請求項13の何れかに記載の表示装置。

【請求項20】 前記発光層は $Ga_{y5}In_{1-y5}N$ ($0.92 \leq y5 \leq 1$)で構成され、前記n層はドナー不純物が添加されたGaN で構成されていることを特徴とする請求項19に記載の表示装置。

【発明の詳細な説明】

(3)

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は発光色を可変できる3族窒化物半導体を用いた単一素子及び平面ディスプレイ等の表示装置に関する。

【0002】

【従来技術】従来、青色発光の得られるInGaNを用いた半導体発光ダイオードが知られている。さらに、この発光ダイオードでより長波長の緑色発光を得るために、発光層の禁制帯幅を狭くするためにInの組成比を大きくすることが行われている。又、発光ダイオードで高輝度の純青色や純緑色の発光が得られていないため、発光ダイオードを用いたフルカラーのディスプレイは、未だ、実現していない。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記のInGaNを用いた発光ダイオードにおいて、Inの組成比を大きくすると、発光層の結晶性が悪化し発光効率が低下する。従って、発光波長を長くするに連れて発光輝度が低くなり、未だ、高輝度の青色から緑色の発光が得られていない。又、フルカラーのディスプレイを形成する場合には、赤色、緑色、青色の発光ダイオードが必要となる。現在、この各色の発光ダイオードは、全て半導体材料が異なり、1つの半導体材料で3原色の光を発光するような表示装置は知られていない。さらに、発光ダイオードチップの2次元配列ではなく、半導体を気相成長させる基板を表示装置の画面として、半導体の成長工程において、単一基板上に配線や画素を集積化したフルカラーディスプレイは知られていない。

【0004】本発明は上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、3族窒化物半導体だけで、発光色を可変できるようにすることと、フルカラーの平面ディスプレイを可能とすることである。

【0005】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明によれば、紫外線を発光する3族窒化物半導体を用いた発光層と、その発光層の放射する紫外線を受光して、赤、青、緑の3原色の可視光に変換する蛍光体層とを設けたものである。よって、蛍光体は可視光よりも短い波長の紫外線により励起されるため、3原色の蛍光体層に照射する紫外線の強度を変化させるだけで、任意の発光色を得ることができる。

【0006】請求項2の発明は電極層上に形成された蛍光体層、請求項3の発明は透明なサファイア基板面に形成された蛍光体層により、発光層からの紫外線が3原色の可視光に変換される。いずれも、各3原色の蛍光体に照射する紫外線の強度の組み合わせを変化させるだけで、任意の色の可視光を得ることができる。

【0007】請求項4は3画素を1組とした画素を2次元配列した平面ディスプレイである。これにより、フルカラーの平面表示が可能となる。

【0008】請求項5、6は、より具体化した平面ディスプレイである。請求項5は、その平面ディスプレイを3原色の蛍光体層の形成されたガラス基板と、各画素に紫外線を照射するための発光ダイオードチップを蛍光体層に平行に2次元配列したものである。又、請求項6は、請求項5の発光ダイオードチップをそれぞれの強度の制御が可能な3本の紫外線を発光する単一チップを表示の各ドットに対応して2次元配列したものである。このように、発光ダイオードチップの2次元配列よりフルカラーの平面ディスプレイが可能となる。

【0009】これに対して、請求項7は、一つの基板上に形成された発光層を加工して、ドットマトリックス型に構成して、ガラス基板上に形成された蛍光体層の各画素に紫外線を照射するようにしたものである。

【0010】又、請求項8は一つの基板上に発光層をドットマトリックスに形成し、発光層の上方に存在する電極層上に3原色の蛍光体層を設けたものであり、請求項9は基板を透明なサファイア基板で構成して、その基板の裏面上に3原色の蛍光体層を形成したものである。いずれも、3族窒化物半導体を成長させる基板そのものを表示画面とすることができる。

【0011】請求項10、11、12は発光層をドットマトリックスに形成し、発光層に対して下側の導電層をx軸方向のラインとし、上側の電極層をy軸方向のラインとしたものである。これにより、3族窒化物を成長させる基板を表示面とするドットマトリックス型のディスプレイが可能となる。

【0012】請求項13～20は、紫外線を放射する発光層に関するものである。請求項13～18の発明では、発光層をAlGaInNの1重又は多重の量子井戸構造とし、発光層にドナー不純物又はアクセプタ不純物を添加した。このため、ドナー準位、又は、アクセプタ準位が形成されるため、発光に寄与する電子とホールとの再結合確率が增大するため、再結合による発光効率が向上する。又、インジウム組成比と不純物濃度は、希望する発光ピーク波長と発光強度との関係で決定される。

【0013】又、発光層にInGaNよりも結晶性の良いAlGaInを用い、発光層を量子井戸構造の歪超格子とすることで、格子定数のミスフィットの伝搬を防止して井戸層の結晶性を向上させ、これにより発光効率を向上させることができた。特に、結晶性の良い井戸層にアクセプタ不純物とドナー不純物とを共に添加して、アクセプタ準位とドナー準位とによる対発光により、紫外線の発光効率を大きく向上させることができた。

【0014】尚、発光層のAlのモル組成比は15%以上とし、井戸層の厚さは50Å～200Åの範囲が望ましい。50Å以下だと不純物拡散が起こり、200Å以上だと量子効果が発生しなくなるので望ましくない。又、バリア層の厚さは50Å～200Åの範囲が望ましい。50Å以下だと井戸層にキャリアを閉じ込める効率が下

(4)

がるため望ましくなく、200 Å以上だと量子効果が発生しなくなるので望ましくない。200 Å以上だとノンドープの場合には抵抗が大きくなり、又、ドープした場合には転位によるクラックが入るので望ましくない。

【0015】又、発光層に添加するアクセプタ不純物とドナー不純物の濃度は $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の範囲が望ましい。 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以下であると、発光中心不足により発光効率が低下し、 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以上となると、結晶性が悪くなり、又、オージェ効果が発生するので望ましくない。

【0016】又、請求項18の発明では、n層は発光層と格子定数が略等しくなるように、 $\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{y3}\text{In}_{1-x3-y3}\text{N}$ の組成比 $X3, Y3$ が決定され、p層は発光層に対してn層から注入された電子を十分に閉じ込められるだけ、禁制帯幅が大きくなるように、 $\text{Al}_{x4}\text{Ga}_{y4}\text{In}_{1-x4-y4}\text{N}$ の組成比 $X4, Y4$ が決定される。このようにn層を決定することで、n層と発光層との格子定数の相違によるミスフィットが少なく、発光層の結晶性が向上する。

【0017】n層と発光層との接合による障壁は、p層から発光層に注入された正孔を閉じ込める作用をする。ところが、正孔の拡散長は数1000 Åであり、発光層はその拡散長よりも厚く構成されている。よって、n層と発光層との接合による障壁は、正孔の発光層内での閉じ込めに有効に寄与しない。したがって、n層と発光層間の障壁は小さくても良いので、n層は発光層に対して格子定数が略等しくなるように、 $\text{Al}_{x3}\text{Ga}_{y3}\text{In}_{1-x3-y3}\text{N}$ の組成比 $X3, Y3$ を決定することで、n層と発光層との間の格子不整合を極力小さくすることができ、発光層の結晶性を向上させることが可能となる。この結果、紫外線の発光効率が向上する。

【0018】紫外線を発光するために、発光層を $\text{Ga}_{y5}\text{In}_{1-y5}\text{N}$ ($0.92 \leq Y5 \leq 1$)で構成した場合には、n層をGa_Nとすることで、格子不整合を小さくすることができる。

【0019】又、上記の発光ダイオードはサファイア基板上に、バッファ層を形成し、その上にn層に対する電流のリードとして機能する高濃度にシリコンが添加されたGa_Nから成る n^+ 層を形成することもできる。この場合には、n層をGa_Nで構成することで、 n^+ 層とn層との格子定数は完全に一致し、ミスフィット転位は発生しない。よって、発光層の結晶性がより向上する。

【0020】

【発明の実施の形態】

紫外線発光ダイオードの第1実施例

紫外線を発光する発光ダイオードの構造について説明する。図1において、発光ダイオード10は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1上に500 ÅのAl_Nのバッファ層2が形成されている。そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約2.0 μm、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコンドープGa_Nから成る高キャリア濃度 n^+ 層3、膜厚約1.0 μm、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリ

コンドープの $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ から成るn層4、全膜厚約0.11 μmの発光層5、膜厚約1.0 μm、ホール濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、濃度 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ にマグネシウムがドープされた $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ から成るp層61、膜厚約0.2 μm、ホール濃度 $7 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム濃度 $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ のマグネシウムドープのGa_Nから成るコンタクト層62が形成されている。そして、コンタクト層62上にコンタクト層62に接合するNiから成る電極7が形成されている。さらに、高キャリア濃度 n^+ 層3の表面の一部は露出しており、その露出部にその層3に接合するNiから成る電極8が形成されている。

【0021】発光層5の詳細な構成は、図2に示すように、膜厚約100 Åの $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ から成る6層のバリア層51と膜厚約100 Åの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ から成る5層の井戸層52とが交互に積層された多重量子井戸構造で、全膜厚約0.11 μmである。又、井戸層52には、亜鉛とシリコンが、それぞれ、 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ の濃度に添加されている。

【0022】次に、この構造の発光ダイオード10の製造方法について説明する。上記発光ダイオード10は、有機金属化合物気相成長法(以下「MOVPE」と記す)による気相成長により製造された。用いられたガスは、NH₃とキャリアガスH₂又はN₂とトリメチルガリウム($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMG」と記す)とトリメチルアルミニウム($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMA」と記す)とシラン(SiH_4)とジエチル亜鉛(以下「DEZ」と記す)とシクロペンタジエニルマグネシウム($\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) (以下「CP₂Mg」と記す)である。

【0023】まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とする厚さ100 ~ 400 μmの単結晶のサファイア基板1をMOVPE装置の反応室に載置されたサセプタに装着する。次に、常圧でH₂を流速2 liter/分で反応室に流しながら温度1100℃でサファイア基板1を気相エッチングした。

【0024】次に、温度を400℃まで低下させて、H₂を20 liter/分、NH₃を10 liter/分、TMAを 1.8×10^{-5} モル/分で供給してAl_Nのバッファ層2が約500 Åの厚さに形成された。次に、サファイア基板1の温度を1150℃に保持し、H₂を20 liter/分、NH₃を10 liter/分、TMGを 1.7×10^{-4} ル/分、H₂ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを200ml/分で30分供給して、膜厚約2.2 μm、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコンドープのGa_Nから成る高キャリア濃度 n^+ 層3を形成した。

【0025】次に、サファイア基板1の温度を1100℃に保持し、N₂又はH₂を10 liter/分、NH₃を10 liter/分、TMGを 1.12×10^{-4} モル/分、TMAを 0.47×10^{-4} モル/分、及び、H₂ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 10×10^{-9} mol/分で、60分供給して、膜厚約1 μm、濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコンドープの $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ から成るn層4を形成した。

(5)

【0026】その後、サファイア基板1の温度を1100℃に保持し、N₂又はH₂を20 liter/分、NH₃を10 liter/分、TMGを 1×10^{-5} モル/分、TMAを 0.39×10^{-4} モル/分で3分間導入してAl_{0.25}Ga_{0.75}Nから成る厚さ100 Åのバリア層51を形成した。次に、N₂又はH₂を20 liter/分、NH₃を10 liter/分、TMGを 1×10^{-5} モル/分、TMAを 0.31×10^{-4} モル/分で、且つ、H₂ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 10×10^{-9} mol/分、DEZを 2×10^{-4} モル/分で、3分間導入してAl_{0.2}Ga_{0.8}Nから成る厚さ100 Åのシリコンと亜鉛が、それぞれ、 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ の濃度に添加された井戸層52を形成した。このような手順の繰り返しにより、図2に示すように、バリア層51と井戸層52とを交互に5層だけ積層した多重量子井戸構造で、全体の厚さ0.11 μmの発光層5を形成した。

【0027】続いて、温度を1100℃に保持し、N₂又はH₂を20 liter/分、NH₃を10 liter/分、TMGを 1.12×10^{-4} モル/分、TMAを 0.47×10^{-4} モル/分、及び、CP₂Mgを 2×10^{-4} モル/分で60分間導入し、膜厚約1.0 μmのマグネシウム(Mg)ドーパのAl_{0.3}Ga_{0.7}Nから成るp層61を形成した。p層61のマグネシウムの濃度は $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ である。この状態では、p層61は、まだ、抵抗率 $10^8 \Omega\text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0028】続いて、温度を1100℃に保持し、N₂又はH₂を20 liter/分、NH₃を10 liter/分、TMGを 1.12×10^{-4} モル/分、及び、CP₂Mgを 4×10^{-4} モル/分の割合で4分間導入し、膜厚約0.2 μmのマグネシウム(Mg)ドーパのGa_{0.3}Nから成るコンタクト層62を形成した。コンタクト層62のマグネシウムの濃度は $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ である。この状態では、コンタクト層62は、まだ、抵抗率 $10^8 \Omega\text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0029】このようにして、図2に示す断面構造のウエハが得られた。次に、このウエハを、450℃で45分間、熱処理した。この熱処理により、コンタクト層62、p層61は、それぞれ、ホール濃度 $7 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、抵抗率2 Ωcm、0.8 Ωcmのp伝導型半導体となった。このようにして、多層構造のウエハが得られた。

【0030】次に、図3に示すように、コンタクト層62の上に、スパッタリングによりSiO₂層9を2000 Åの厚さに形成し、そのSiO₂層9上にフォトリソグレイスを塗布した。そして、フォトリソグラフィにより、図3に示すように、コンタクト層62上において、高キャリア濃度n⁺層3に対する電極形成部位A'のフォトリソグレイスを除去した。次に、図4に示すように、フォトリソグレイスによって覆われていないSiO₂層9をフッ化水素酸系エッチング液で除去した。

【0031】次に、フォトリソグレイス10及びSiO₂層9によって覆われていない部位のコンタクト層62、p層61、発光層5、n層4を、真空度0.04Torr、高周波電力

0.44W/cm²、BCl₃ガスを10 ml/分の割合で供給しドライエッチングした後、Arでドライエッチングした。この工程で、図5に示すように、高キャリア濃度n⁺層3に対する電極取出しのための孔Aが形成された。

【0032】次に、試料の上全面に、一様にNiを蒸着し、フォトリソグレイスの塗布、フォトリソグラフィ工程、エッチング工程を経て、図1に示すように、高キャリア濃度n⁺層3及びコンタクト層62に対する電極8、7を形成した。その後、上記の如く処理されたウエハを各チップに切断して、発光ダイオードチップを得た。

【0033】このようにして得られた発光素子は、駆動電流20mAで、発光ピーク波長380nm、発光強度2mWであった。この発光効率は3%であり、従来の構成のものに比べて10倍に向上した。

【0034】上記の実施例では、発光層5のバリア層51のバンドギャップが両側に存在するp層61とn層4のバンドギャップよりも小さくなるようなダブルヘテロ接合に形成されている。上記実施例ではダブルヘテロ接合構造を用いたが、シングルヘテロ接合構造であっても良い。さらに、p層を形成するのに熱処理を用いたが、電子線照射によってp型化しても良い。

【0035】紫外線発光ダイオードの第2実施例

上記の発光ダイオード10は、各井戸層52に亜鉛とシリコンとを同時に添加している。図6に示すように、発光ダイオード100の発光層5は、複数の井戸層520に、順に交互に、シリコンと亜鉛を添加しても良い。又、各井戸層52と各バリア層51とに亜鉛とシリコンとを同時に添加しても良い。この構造において、アクセプタ準位とドナー準位による対発光が可能となり、紫外線の発光効率が向上する。このようにして得られた発光素子は、駆動電流20mAで、発光ピーク波長380nm、発光強度5mWであった。この発光効率は7%であり、従来の構成のものに比べて25倍に向上した。

【0036】紫外線発光ダイオードの第3実施例

又、図7に示すように、発光ダイオード200は、全ての井戸層521に亜鉛を添加し、全てのバリア層511にシリコンを添加したものでも良い。この構造において、アクセプタ準位とドナー準位による対発光が可能となり、紫外線の発光効率が向上する。尚、逆に、全ての井戸層521にシリコンを添加し、全てのバリア層511に亜鉛を添加するようにしても良い。このようにして得られた発光素子は、駆動電流20mAで、発光ピーク波長370nm、発光強度5mWであった。この発光効率は7%であり、従来の構成のものに比べて25倍に向上した。

【0037】さらに、上記の全ての発光ダイオードは、バリア層51、510、511にはマグネシウムが添加されていないが、マグネシウムを添加した後の、熱処理、又は、電子線照射処理によりp型化しても良い。このようにして得られた発光素子は、駆動電流20mAで、発光ピーク波長380nm、発光強度10mWであった。この発

(6)

光効率 $\geq 15\%$ であり、従来の構成のものに比べて50倍に向上した。

【0038】紫外線発光ダイオードの第4実施例

さらに、発光ダイオード300を図8に示すような構成としても良い。即ち、発光ダイオード300を膜厚約 $5.0\mu\text{m}$ 、濃度 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコンドープGa N から成る高キャリア濃度 n^+ 層30、膜厚約 $0.5\mu\text{m}$ 、濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のシリコンドープのGa N から成る n 層40、全膜厚約 $0.41\mu\text{m}$ の発光層50、膜厚約 $0.5\mu\text{m}$ 、ホール濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、濃度 $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ にマグネシウムがドープされた $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ から成る p 層610、膜厚約 $1\mu\text{m}$ 、ホール濃度 $7 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム濃度 $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ のマグネシウムドープのGa N から成るコンタクト層620で構成しても良い。

【0039】但し、発光層50の詳細な構成は、膜厚約 100\AA のGa N から成る21層のバリア層512と膜厚約 100\AA の $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ から成る20層の井戸層522とが交互に積層された多重量子井戸構造で、全膜厚約 $0.41\mu\text{m}$ である。又、井戸層522には、シリコンが $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ の濃度に添加されている。

【0040】このようにして得られた発光素子は、駆動電流 20mA で、発光ピーク波長 380nm 、発光強度 2mW であった。この発光効率は 3% であり、従来の構成のものに比べて10倍に向上した。

【0041】尚、発光層50の井戸層522に $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ を用いたが、 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.89}\text{In}_{0.08}\text{N}$ 等の4元素の3族窒化物半導体を用いてもよい。又、バリア層512にGa N を用いたが、井戸層522の禁制帯幅よりも大きな禁制帯幅を有する $\text{Al}_{x2}\text{Ga}_{y2}\text{In}_{1-x2-y2}\text{N}$ 半導体を用いても良い。又、発光層50の多重量子井戸の繰り返し層数は1~20程度を用いることができる。さらに、バリア層512と井戸層522は略格子定数を一致させるように組成比を選択するのが良い。又、上記の第1~第4実施例において、発光層は多重量子井戸構造としたが1重の量子井戸構造としても良い。

【0042】紫外線発光ダイオードの第5実施例

又、上記の全ての発光ダイオードの発光層は多重量子井戸構造としたが、他の発光ダイオード400として、図9に示すように、発光層500を、膜厚約 $0.5\mu\text{m}$ の $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ で構成しても良い。この場合の発光ダイオードは、駆動電流 20mA で、発光ピーク波長 380nm 、発光強度 1mW であった。この発光効率は 1.5% であり、従来の構成のものに比べて5倍に向上した。この発光層500は不純物を添加していないが、シリコン等のドナー不純物や亜鉛等のアクセプタ不純物を添加しても良い。発光層500は厚さ $0.5\mu\text{m}$ にしているので、正孔の拡散長よりも厚くなり、 n 層40と発光層500との間の障壁が小さくても、発光効率を低下させることはない。

【0043】又、図8と図9に示す発光ダイオードは、 n^+ 層30と n 層40とは共にGa N であるので、これら

の層間での格子不整合は存在しない。よって、この格子不整合によるミスフィット転位が発光層50、500に発生することはない。又、Ga N と $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ との間の格子不整合は小さく、 n 層40と発光層50との格子不整合に伴う発光層50、500のミスフィット転位は少ない。よって、発光層の結晶性が良くなった。

【0044】他の実施例

上記全ての実施例ではダブルヘテロ接合構造を用いたが、シングルヘテロ接合構造であっても良い。さらに、 p 層を形成するのに熱処理を用いたが、電子線照射によって p 型化しても良い。発光ダイオードの例を示したが、レーザダイオードであっても同様に構成可能である。

【0045】表示装置の第1実施例

次に、このようにして形成された発光ダイオード10、100、200、300、400を用いた平面ディスプレイについて説明する。以下の説明では発光ダイオードは代表して10で表されている。尚、以下の記述において、R、G、Bは、表示の1ドットにおける赤色画素、緑色画素、青色画素を意味し、 x_1, x_2, y_1, y_2 等は、表示ドットの列番号、行番号を表している。

【0046】図10に示すように、プリント基板11の表面上には、 x 軸方向に平行に表示画面の行数だけの信号線（行ライン） $110_{y1}, 110_{y2}, \dots$ が形成されている。又、プリント基板11の裏面上には y 軸方向に平行に表示画面の列数の3倍のアドレス線（列ライン） $120_{Rx1}, 120_{Gx1}, 120_{Bx1}, \dots$ が形成されている。そして、アドレス線 $120_{Rx1}; 120_{Gx1}; 120_{Bx1}; \dots$ は、それぞれ、プリント基板11の表面上のランド $121_{Rx1,y1}, 121_{Rx1,y2}, \dots; 121_{Gx1,y1}, 121_{Gx1,y2}, \dots; 121_{Bx1,y1}, 121_{Bx1,y2}, \dots$ に、スルーホールを介して接続されている。

【0047】このようなプリント基板11の表面上上記の構成の発光ダイオード $10_{Rx1,y1}, 10_{Gx1,y1}, 10_{Bx1,y1}, \dots; 10_{Rx1,y2}, 10_{Gx1,y2}, 10_{Bx1,y2}, \dots$ が、図10に示すように、2次元配列されている。そして、発光ダイオード $10_{Rx1,y1}, 10_{Gx1,y1}, 10_{Bx1,y1}, \dots; 10_{Rx1,y2}, 10_{Gx1,y2}, 10_{Bx1,y2}, \dots$ の電極7は、金線により、それぞれ、信号線 $110_{y1}; 110_{y2}; \dots$ に接続されている。又、発光ダイオード $10_{Rx1,y1}, 10_{Rx1,y2}, \dots; 10_{Gx1,y1}, 10_{Gx1,y2}, \dots; 10_{Bx1,y1}, 10_{Bx1,y2}, \dots$ の電極8は、金線により、それぞれ、アドレス線 $120_{Rx1}; 120_{Gx1}; 120_{Bx1}; \dots$ に接続されている。このようにして、LEDマトリックスが形成されている。

【0048】一方、図11に示す様に、ガラス基板12の裏面上には、図10に示すLEDマトリックスに対応して、赤、緑、青の3原色の蛍光体層 $13_{Rx1,y1}, 13$

(7)

$G_{x1,y1}, 13B_{x1,y1}, \dots; 13R_{x1,y2}, 13G_{x1,y2}, 13B_{x1,y2}, \dots; \dots$ がドットマトリックスに形成されている。この赤、緑、青の3画素で表示画面の1ドットAが形成されている。このガラス基板12とプリント基板11とが、図12に示すように、平行に接合されて、平面ディスプレイ14が形成される。この平面ディスプレイ14では、選択されたドットの選択された色の画素に対応した発光ダイオード10が駆動されると、その画素の蛍光体層13に紫外線が照射され、所定の色が発光する。赤、緑、青の各画素に対応した発光ダイオード10R、10G、10Bの紫外線の発光強度を制御することで、表示画面上の1ドットの発光色を制御することができる。

【0049】上記の蛍光体層13には、蛍光顔料、蛍光染料、その他の蛍光物質を用いることができる。緑色発光の蛍光体として $ZnS:Cu, Al$ 蛍光体と $Y_2Al_5O_{12}:Tb$ 蛍光体との混合体、赤色発光の蛍光体として $Y_2O_3:Eu$ 蛍光体と $Y_2O_3S:Eu$ 蛍光体との混合体、青色発光の蛍光体として $ZnS:Ag, Al$ 蛍光体を用いることもできる。その他の蛍光体材料としては、 $Zn_0.2Cd_{0.8}S:Ag$ 、 $Zn_{0.6}Cd_{0.4}S:Ag$ 、 $(Sr, Ca)_{10}(PO_4)_6Cl_2:Eu$ 等を用いることができる。

【0050】表示装置の第2実施例

次に示す実施例は、可変色の単一発光素子である。上述したように、サファイア基板1上にバッファ層2、 n^+ 層3、 n 層4、発光層5、 p 層61、コンタクト層62まで形成される。次に、図13、図14、図15に示すように、 n^+ 層3までエッチングされ、 n 層4、発光層5、 p 層61、コンタクト層62の島が3画素分形成される。次に、絶縁膜80で n^+ 層3の露出部が覆われた後、 n^+ 層3及びコンタクト層62に対する電極形成部の絶縁膜80に窓が形成される。その後、図13、図14、図15に示すように、各コンタクト層62R、62G、62Bに接合する電極7R、7G、7Bと n^+ 層3に接合する電極8とが形成される。

【0051】そして、電極7R、7G、7Bの上面に赤、緑、青の蛍光体層13R、13G、13Bが形成される。このように、 n^+ 層3が各発光層5R、5G、5Bに対する共通電極となり、電極7R、7G、7Bが3原色の選択電極となる。電極8をアースとして、電極7R、7G、7Bのそれぞれに制御電圧が印加されることで、各発光層5R、5G、5Bから制御電圧に対応した強度の紫外線が発光され、各蛍光体層13R、13G、13Bは制御電圧に対応した強度の赤、緑、青色の光を放射する。このようにして、可変色発光の発光素子が得られる。

【0052】表示装置の第3実施例

又、各コンタクト層62R、62G、62Bに接合する電極7を共通電極とし、 n^+ 層3を各色毎に形成して、各 n^+ 層3R、3G、3Bに接合する電極8R、8G、8Bを選択電極とするには、図16、図17、図18に

示すように発光素子を形成すれば良い。この場合には、3画素分の島を形成するためのエッチングは、サファイア基板1が露出するまで実行される。即ち、バッファ層2からコンタクト層62までが完全に3つの島に分離され、各 n^+ 層3R、3G、3Bに対する電極形成部位において、 n^+ 層3R、3G、3Bの一部が露出するようにエッチングされる。そして、絶縁膜80が形成された後、各コンタクト層62R、62G、62Bに共通して接合するように電極7が形成され、露出した各 n^+ 層3R、3G、3Bにそれぞれ接合する電極8R、8G、8Bが形成される。

【0053】表示装置の第4実施例

図13、図16に示すような単一チップ可変色発光ダイオードを図10と同様に2次元配列させることで、フルカラーの平面ディスプレイを製造することができる。この場合には、表示画面上の1ドット毎に3原色発光可能な発光ダイオードチップが2次元配列されることになる。さらに、図13、図16に示す構造の蛍光体層が塗布されていない発光ダイオードチップを図10に示すように2次元配列し、図12に示すように蛍光体層が塗布されたガラス基板に対面させても良い。

【0054】表示装置の第5実施例

次に示す実施例は、単一のサファイア基板でフルカラーの平面ディスプレイを構成した例である。上述したように、サファイア基板1上にバッファ層2、 n^+ 層3、 n 層4、発光層5、 p 層61、コンタクト層62まで形成される。次に、図19、図21に示すように、 x 軸方向に平行なラインを y 軸に沿って多数本形成するように、コンタクト層62からバッファ層2までエッチングされる。即ち、行ライン以外は、サファイア基板1までエッチングされる。次に、各3原色の画素に対応して、図19、図20に示すように、ドットマトリックスに、 n^+ 層3までエッチングされ、 n 層4、発光層5、 p 層61、コンタクト層62の島がドットマトリックスに形成される。次に、絶縁膜80で覆った後、 n^+ 層3及びコンタクト層62に対する電極形成部の絶縁膜80に窓が形成される。その後、図19、図20、図21に示すように、各列ラインの各コンタクト層62R $_{x1,y1}$ 、62R $_{x1,y2}, \dots; 62G_{x1,y1}, 62G_{x1,y2}, \dots; 62B_{x1,y1}, 62B_{x1,y2}, \dots; \dots$ に接合する電極7R $_{x1}; 7G_{x1}; 7B_{x1}; \dots$ が y 軸方向に平行な列ラインとして形成される。又、各行ラインの n^+ 層3 $_{y1}, 3_{y2}, \dots$ に接合する電極8 $_{y1}, 8_{y2}, \dots$ が形成される。

【0055】そして、電極7R $_{x1}; 7G_{x1}; 7B_{x1}; \dots$ の上面に赤、緑、青の蛍光体層13R $_{x1,y1}, 13R_{x1,y2}, \dots; 13G_{x1,y1}, 13G_{x1,y2}, \dots; 13B_{x1,y1}, 13B_{x1,y2}, \dots; \dots$ が形成される。このように、 n^+ 層3 $_{y1}, 3_{y2}, \dots$ が行ライン（信号線）、電極7R $_{x1}; 7G_{x1}; 7B_{x1}; \dots$ が列ライン（アドレス線）となる。このように構成することで、行ラインと列ラインを選択し

(8)

て、制御電圧を印加することで、電界が印加された画素の発光層5から紫外線が発光し、対応する画素の蛍光体層から可視光線が放射される。表示画面の各ドットAにおいて、3原色の画素の発光層5R、5G、5Bに印加する電圧を制御することで、任意の色の発光を得ることができる。

【0056】表示装置の第6実施例

又、 n^+ 層3を列ライン、電極7を行ラインとすることもできる。即ち、図22、図23に示すように、 y 軸方向に平行な列ラインを x 軸に沿って多数本形成するように、コンタクト層62からバッファ層2までエッチングされる。即ち、列ライン以外は、サファイア基板1までエッチングされる。次に、各3原色の画素に対応して、図22、図24に示すように、ドットマトリックスに、 n^+ 層3までエッチングされ、 n 層4、発光層5、 p 層61、コンタクト層62の島がドットマトリックスに形成される。次に、絶縁膜80で覆った後、 n^+ 層3及びコンタクト層62に対する電極形成部の絶縁膜80に窓が形成される。その後、図22、図23、図24に示すように、各行ラインの各コンタクト層62 $R_{x1,y1}$ 、62 $G_{x1,y1}$ 、62 $B_{x1,y1}$ 、…；62 $R_{x1,y2}$ 、62 $G_{x1,y2}$ 、62 $B_{x1,y2}$ 、…；…に、それぞれ、接合する電極7 $y1$ ；7 $y2$ ；…が x 軸方向に平行な行ラインとして形成される。又、各列ラインの n^+ 層3 $R_{x1,y1}$ 、3 $R_{x1,y2}$ 、…；3 $G_{x1,y1}$ 、3 $G_{x1,y2}$ 、…；3 $B_{x1,y1}$ 、3 $B_{x1,y2}$ 、…；…に、それぞれ、接合する電極8 R_{x1} ；8 G_{x1} ；8 B_{x1} ；…が形成される。

【0057】そして、電極7 $y1$ ；7 $y2$ ；…の上面に、赤、緑、青の蛍光体層13 $R_{x1,y1}$ 、13 $G_{x1,y1}$ 、13 $B_{x1,y1}$ 、…；13 $R_{x1,y2}$ 、13 $G_{x1,y2}$ 、13 $B_{x1,y2}$ 、…；…がそれぞれ形成される。このように、 n^+ 層3 R_{x1} 、3 G_{x1} 、3 B_{x1} ；3 R_{x2} 、3 G_{x2} 、3 B_{x2} ；…列ライン（アドレス線）、電極7 $y1$ ；7 $y2$ ；…が行ライン（信号線）となる。このように構成することで、行ラインと列ラインを選択して、制御電圧を印加することで、電界が印加された画素の発光層5から紫外線が発光し、対応する画素の蛍光体層13から可視光線が放射される。表示画面上の各ドットAにおいて、3原色の画素の発光層5R、5G、5Bに印加する電圧を制御することで、任意の色の発光を得ることができる。

【0058】尚、上記の第5、第6実施例において、蛍光体層はサファイア基板1の裏面に形成しても良い。さらに、第5、第6の実施例において、蛍光体層を形成していない構造の紫外線発光の平面発光体と、蛍光体層がドットマトリックスに塗布されたガラス基板とを対面させて平面ディスプレイを構成しても良い。

【0059】表示装置の第7実施例

図25に示すように、 n^+ 層3を共通の導電層とし、 n 層4から電極7までを、各画素毎に分離してドットマトリックスとして、各画素の電極7に対して各信号線（行

ライン）接続されている列画素を選択するためのゲートトランジスタを介して制御電圧を各画素に選択的に印加するようにしても良い。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の表示装置に使用される紫外線発光ダイオードを構造を示した断面図。

【図2】同実施例の紫外線発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図3】同実施例の紫外線発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図4】同実施例の紫外線発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図5】同実施例の紫外線発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図6】他の例の紫外線発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図7】他の例の紫外線発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図8】他の例の紫外線発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図9】他の例の紫外線発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図10】第1実施例の表示装置の基板の構成を示した平面図。

【図11】第1実施例の表示装置のガラス基板の構成を示した平面図。

【図12】第1実施例の表示装置の組立構造を示した側面図。

【図13】第2実施例の表示装置の構成を示した平面図。

【図14】第2実施例の表示装置を x 軸方向に切断した断面図。

【図15】第2実施例の表示装置を y 軸方向に切断した断面図。

【図16】第3実施例の表示装置の構成を示した平面図。

【図17】第3実施例の表示装置を x 軸方向に切断した断面図。

【図18】第3実施例の表示装置を y 軸方向に切断した断面図。

【図19】第5実施例の表示装置の構成を示した平面図。

【図20】第5実施例の表示装置を x 軸方向に切断した断面図。

【図21】第5実施例の表示装置を y 軸方向に切断した断面図。

【図22】第6実施例の表示装置の構成を示した平面図。

【図23】第6実施例の表示装置を x 軸方向に切断した断面図。

(9).

【図 24】第 6 実施例の表示装置を y 軸方向に切断した断面図。

【図 25】第 7 実施例の表示装置の構成を示した平面図。

【符号の説明】

10, 100, 200, 300, 400…発光ダイオード

1…サファイア基板

2…バッファ層

3, 30…高キャリア濃度 n^+ 層

4, 4 0...n層

5, 50, 500…發光層

51, 510, 511, 512…バリア層

5 2, 5 2 0, 5 2 1, 5 2 2…井戸層

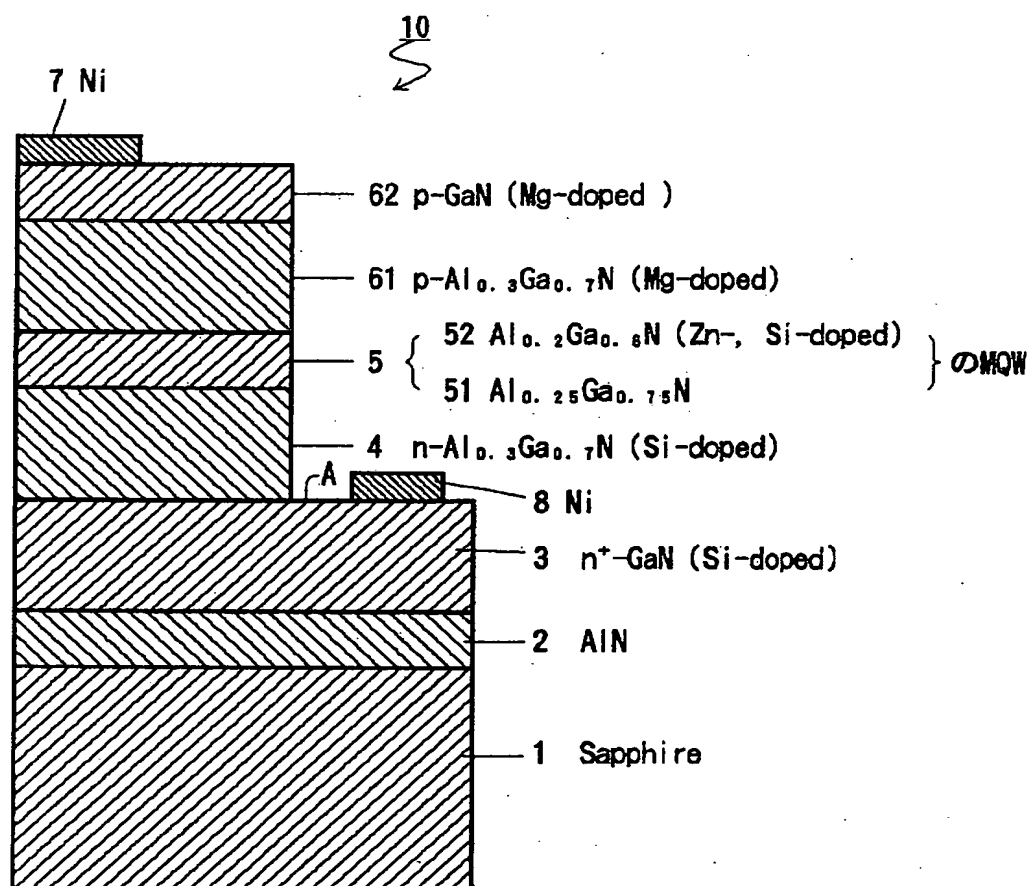
6 1, 6 1 0... p層

62, 620…コンタクト層

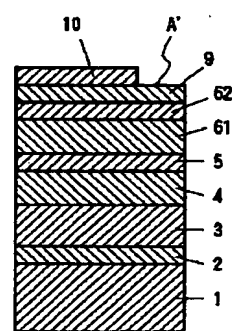
7, 8…電極

1 3 ……螢光体層

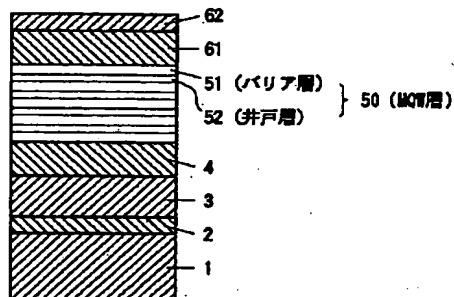
【図 1】



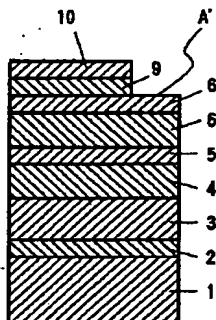
【図 3】



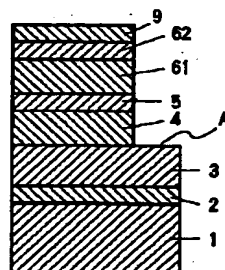
【図 2】



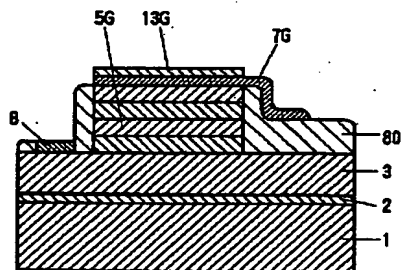
【図 4】



【図 5】

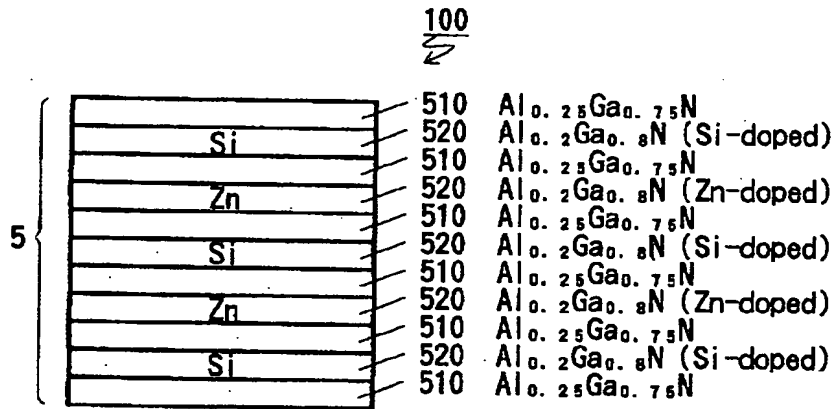


【例 15】

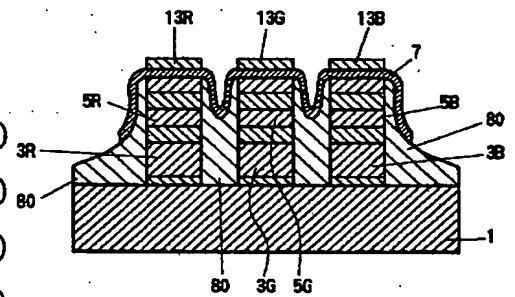


(10)

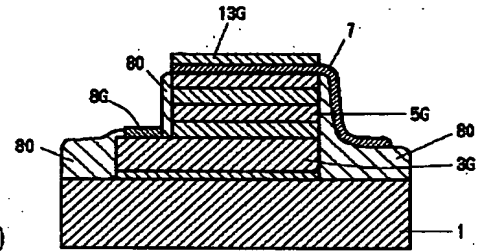
【図6】



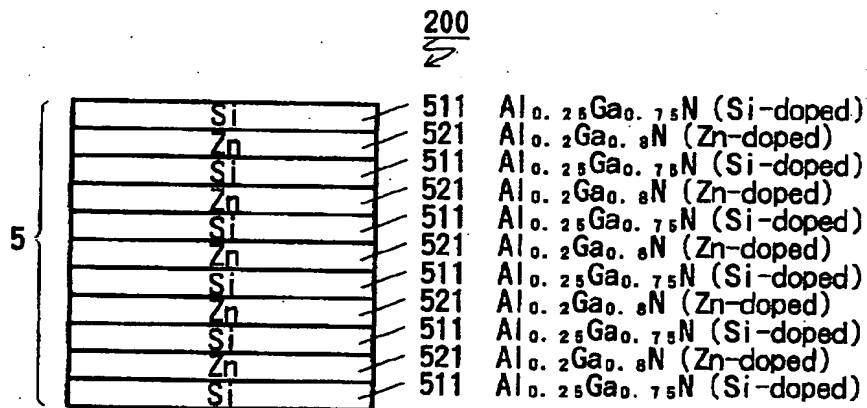
【図17】



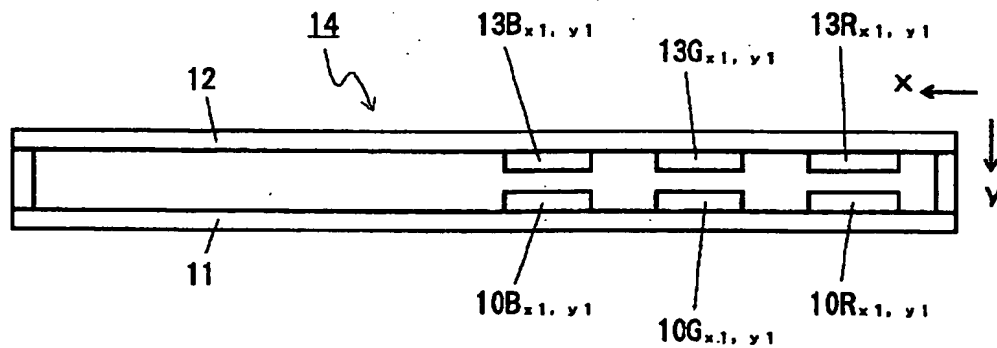
【図18】



【図7】

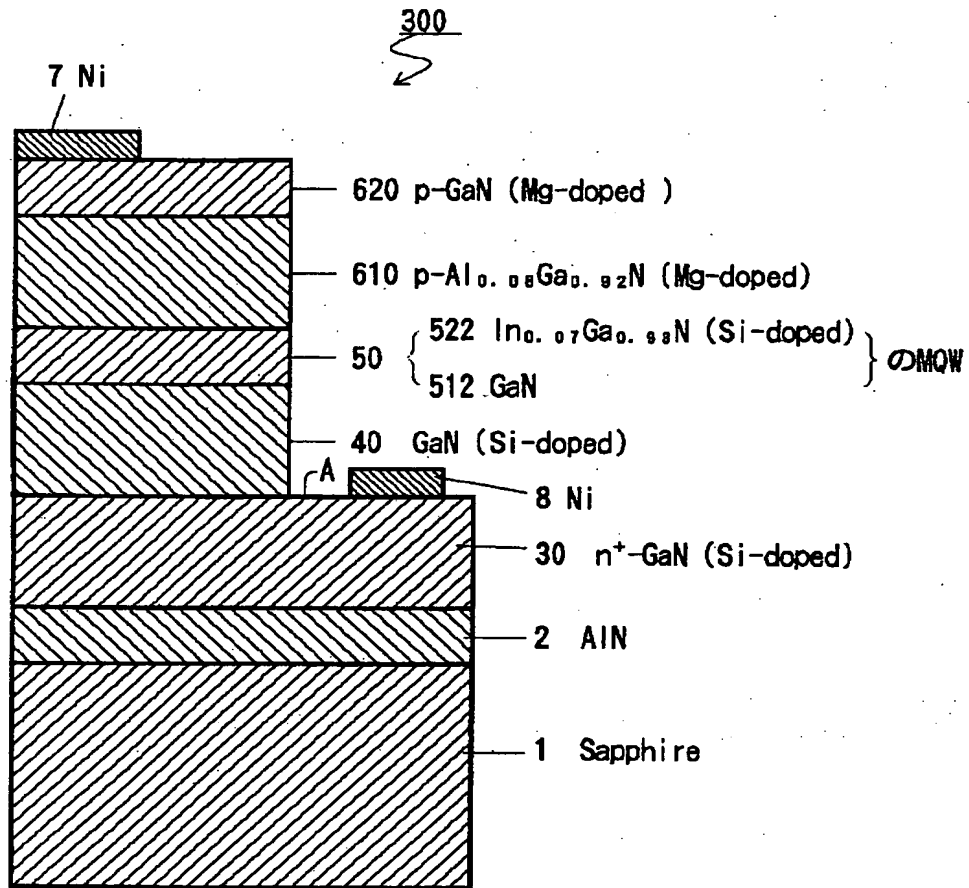


【図12】

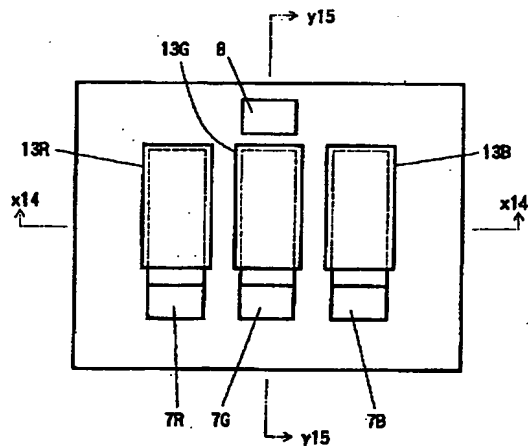


(11)

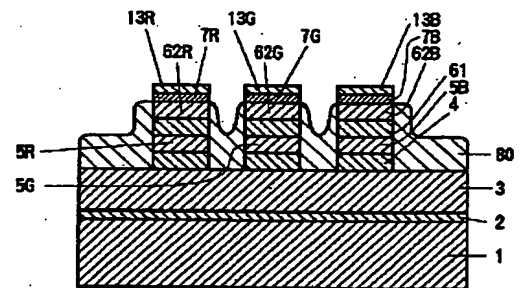
【図8】



【図13】

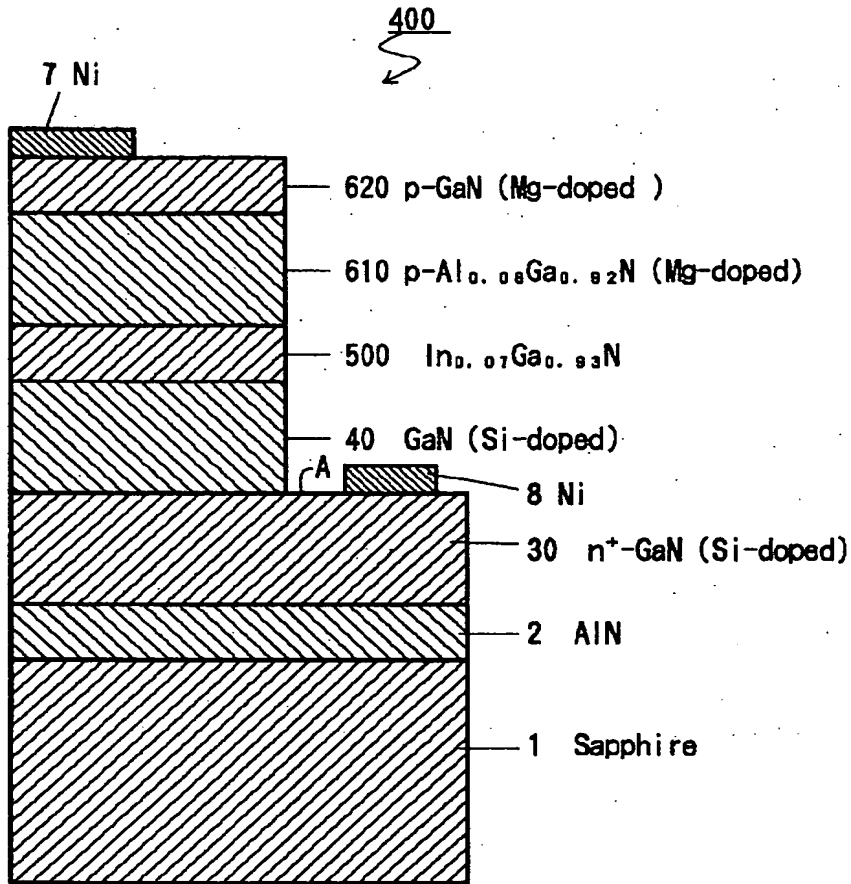


【図14】

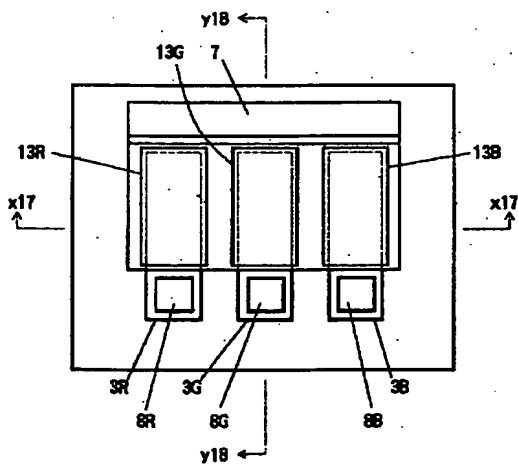


(12)

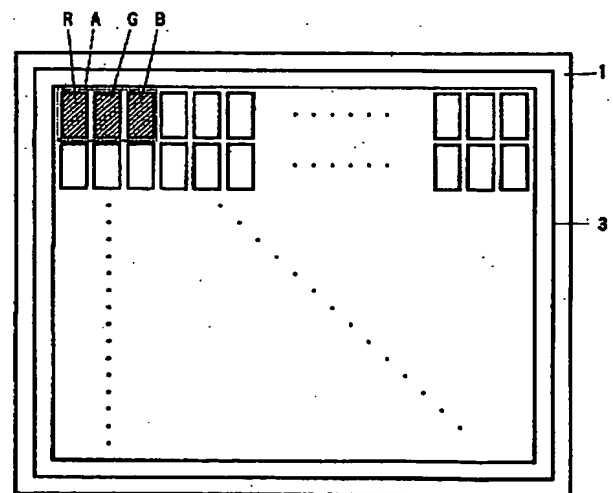
【図9】



【図16】

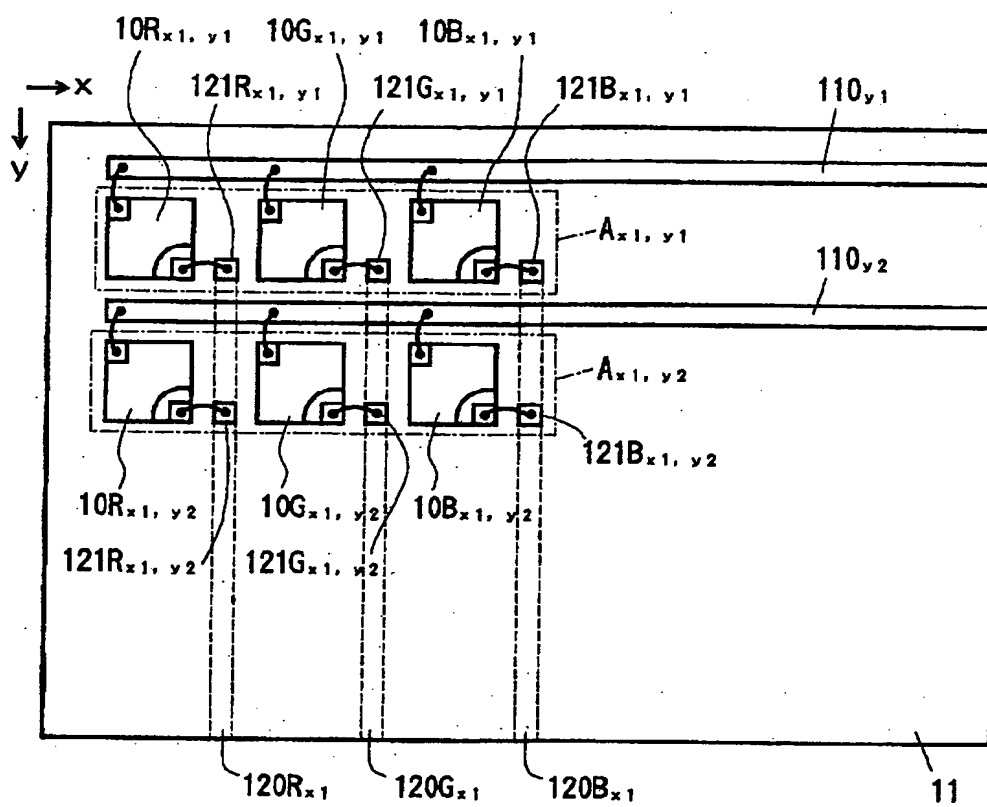


【図25】

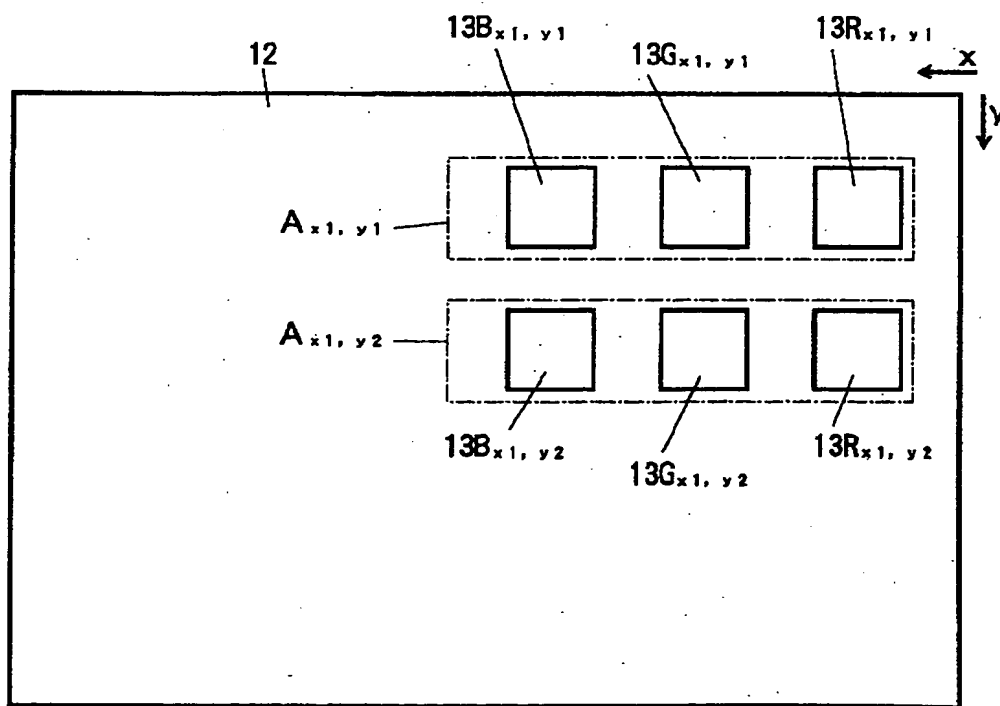


(13)

【図10】

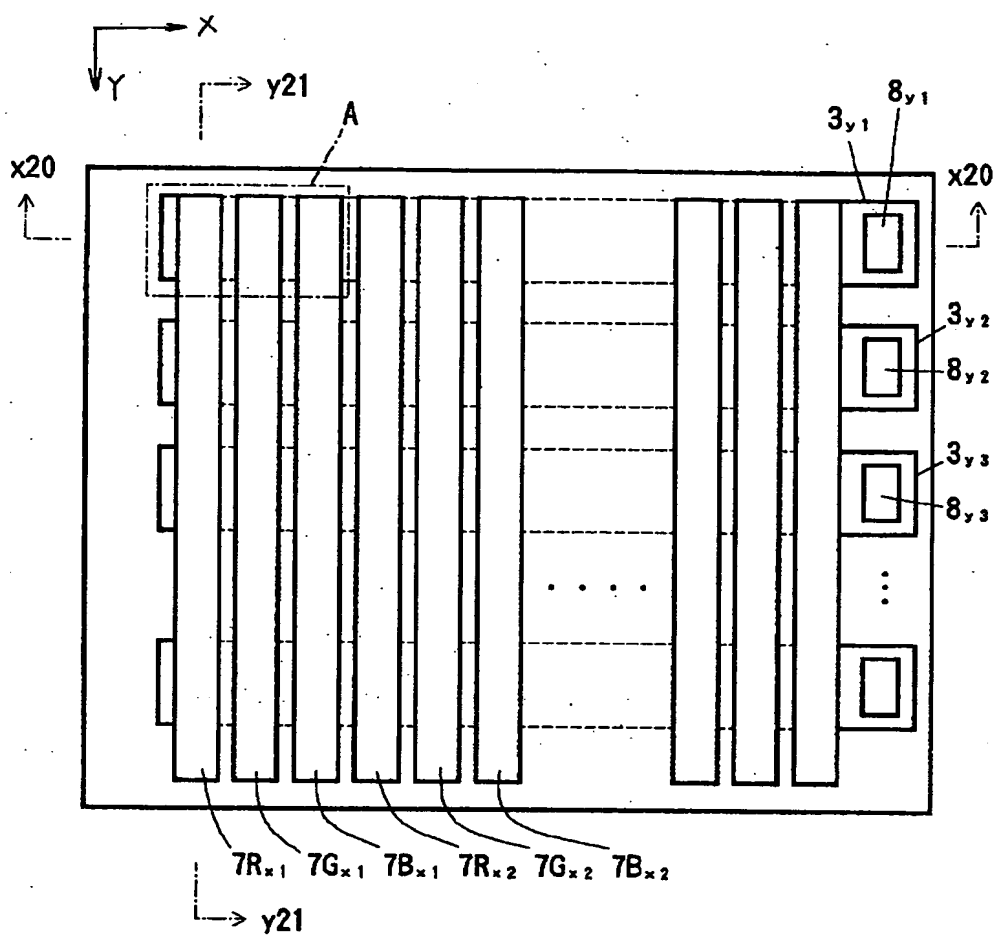


【図11】

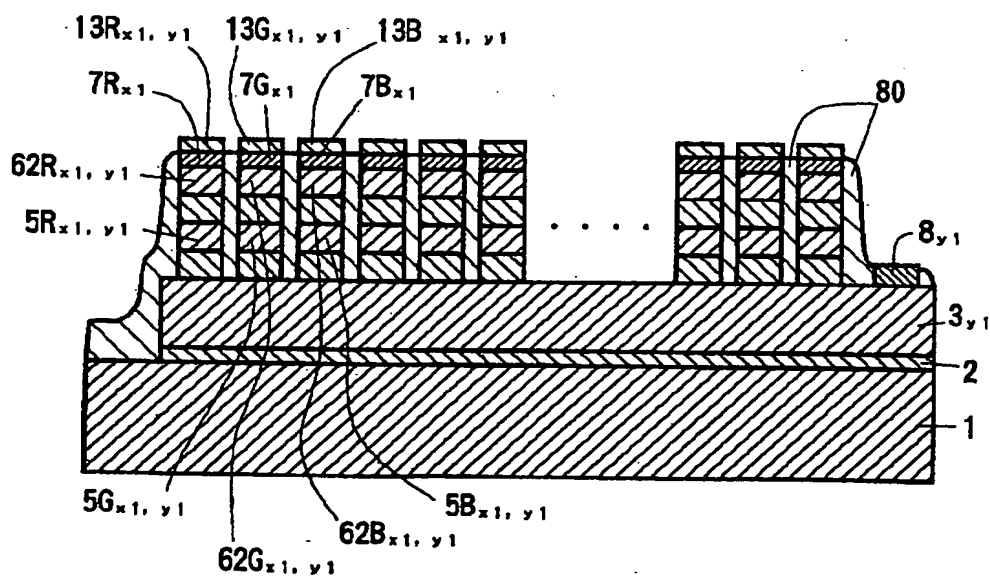


(14)

【図19】

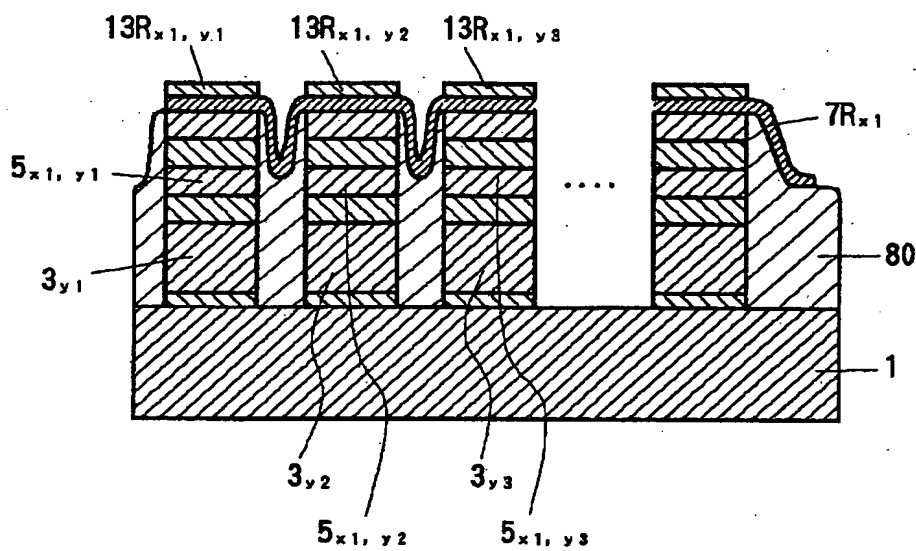


【図20】

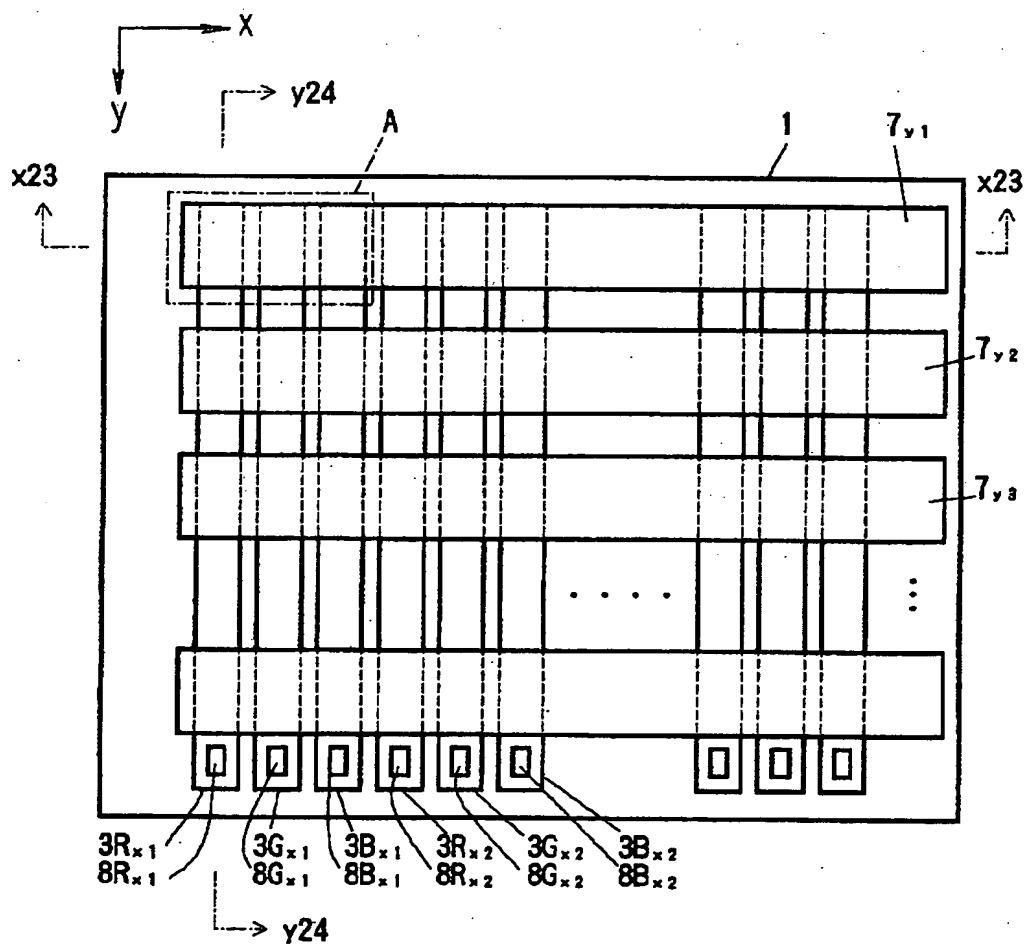


(15)

【図21】

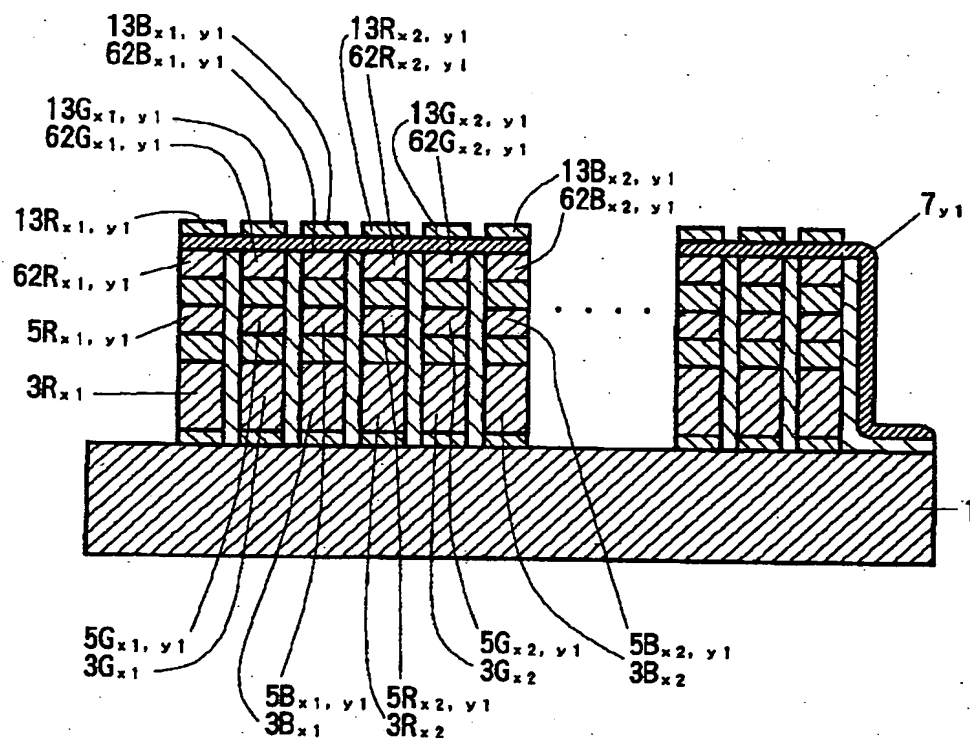


【図22】



(16)

【図23】



【図24】

